

КИЕВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

На правах рукописи

УДК 629.735.064.5:65.011.56:658.562.3/043.3/

МАНСУР Мухаммад Махмуд

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Специальность 05.22.14 - Эксплуатация воздушного транспорта

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Киев 1993



00814837 (V)

Диссертационная работа выдана  
инженеров гражданской авиации

Научный руководитель –  
доктор технических наук, профессор

В. Д. Кузюк

Официальные оппоненты:  
доктор технических наук, профессор

Б. М. Доденко

кандидат технических наук, доцент

Г. Ф. Колякович

Ведущая организация – Авиационный научно-технический  
комплекс им. О. К. Антонова.

Защита диссертации состоится "25" июня 1998 г. в 10<sup>00</sup>  
на заседании специализированного совета Д 072.04.01 при Киевском  
институте инженеров гражданской авиации по адресу: 252058,  
Киев-58, просп. Космонавта Комарова, 1.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке  
Киевского института инженеров гражданской авиации.

Автореферат разослан "2" июня 1998 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

А. Я. Шепель

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

Актуальность темы.

Существующая система ремонта авиационного электронного и электротехнического оборудования /ЭЭО/ имеет существенные недостатки, приводящие к низкому уровню эффективности эксплуатации как отдельных изделий, так и функциональных систем воздушных судов. Основной из таких причин является использование малорентабельных технологических процессов ремонта /ТПР/. Как показал опыт производственной деятельности ремонтных предприятий, основными характеристиками существующих ТПР являются: низкая производительность технологических линий, низкий уровень качества выполнения ремонтных работ, высокая себестоимость проведения ремонтных работ, высокий уровень интенсивности возврата изделий на повторный ремонт. Для совершенствования существующего ТПР возможны, по крайней мере два пути: автоматизация и компьютеризация. Автоматизация достигается за счет широкого внедрения средств автоматизации: автоматизированных комплексов /АК/ и автоматизированных рабочих мест /АРМ/. Компьютеризация обеспечивается применением обширной сети современной вычислительной техники.

Таким образом, существующие технологические процессы ремонта авиационного электронного и электротехнического оборудования обладают конечным множеством традиционно выполняемых технологических операций, а также обладают управляющими решениями, применяемыми по прототипу и на основе практического опыта. Не существует дерева целей, отсутствуют приоритеты или коэффициенты значимости задач, не разработана система качественных и количественных характеристик для достоверной оценки качества выполненных ремонтных работ. Не рассмотрены и не реализованы мероприятия по определению уровня себестоимости ремонтных работ применительно к классу дискретных и аналоговых изделий. Это означает, что проблемность ситуации в технологических процессах ремонта ЭЭО состоит в необходимости перехода на ремонт по техническому состоянию.

В диссертационной работе рассмотрена и проблема повышения эффективности технологических процессов ремонта ЭЭО за счет разработки и внедрения автоматизированных рабочих мест, реализующих принципы подэатурного моделирования и использующих персональные ЭМ.

Для разработки автоматизированного рабочего места, использующего ПЭВМ, в диссертационной работе были рассмотрены и решены следующие задачи:

- провести технико-экономический анализ существующего технологического процесса ремонта ЭЭУ ;
- построить топологическую модель системы технического обслуживания и ремонта ЭЭУ ;
- разработать методику определения параметров оценки технического состояния дискретного и аналогового ЭЭУ ;
- провести исследования переходных процессов в изделиях ЭЭУ при различных ситуациях работоспособного и множества неработоспособных состояний ;
- разработать методику полунатурного моделирования для оценки технического состояния изделий замкнутых электротехнических систем ;
- разработать и испытать модули автоматизированного рабочего места с применением ПЭВМ ;
- разработать методику построения автоматизированного рабочего места .

Методы исследования базируются на использовании теории дифференциальных исчислений, теории вероятностей, математической статистики, теории сетей Петри, теории массового обслуживания.

Научная новизна работы состоит в том, что:

- построена топологическая модель перспективной системы обслуживания и ремонта, позволяющая провести технико-экономическое обоснование применения АРМ в технологическом процессе ремонта ЭЭУ ;
- разработана методика проведения многофакторного эксперимента, обеспечивающая оптимизацию параметров оценки технического состояния дискретных изделий ЭЭУ ;
- получена формализованная процедура построения полунатурных моделей замкнутых электротехнических систем с использованием при этом ПЭВМ ;
- с использованием теории сетей Петри получены сетевые модели расчета на ПЭВМ управляющих параметров ТИР ;
- разработана методика построения автоматизированного рабочего места, использующего методы и средства полунатурного моделирования,

Практическая ценность работы заключается в том, что полученные результаты позволяют: существенно повысить эффективность существующего технологического процесса ремонта ЭЭО; реализовать на практике ресурсосберегающие технологии ремонта изделий ЭЭО; реализовать компьютеризованную информационную систему на базе ЦЭМ, входящую в состав АРМ; осуществить переход на ремонт по техническому состоянию.

Внедрение результатов работы. Основные результаты исследований и разработок внедрены:

- на авиаремонтном заводе № 410 /г.Киев/ в виде модулей автоматизированного комплекса по оценке технического состояния изделий ЭЭО;
- в учебном процессе при проведении лабораторных работ по курсу "Вычислительные устройства аэропортов".

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на 6 конференциях, научно-технических семинарах и совещаниях.

Публикации. По результатам выполняемых исследований опубликовано 7 научных трудов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, основных результатов и выводов /что составляет 207 стр. основного текста, 28 стр. рисунков, 8 стр. таблиц/, списка литературы / 61 наименование / и 4 приложений на 14 страницах.

#### Краткое содержание работы

В первой главе произведено обоснование эффективности разработок и внедрения в технологический процесс ремонта автоматизированных рабочих мест, предназначенных для оценки технического состояния сложного электронного и электротехнического оборудования, а также для выполнения ремонтных, регулировочных и настроечных работ для этого оборудования.

Так как автоматизированное рабочее место /АРМ/ является одним из основных средств автоматизации технологического процесса ремонта /ТНР/, то в главе рассмотрена задача построения структуры автоматизированного технологического процесса ремонта /АТНР/.



$$\forall \begin{matrix} \{\alpha_k\} \in A_k \\ \{y_k\} \in Y_k \end{matrix} [N \cap A_k^4] \cap [Y_k^4] \exists L \begin{matrix} \{f_k^4\} \\ q_4 \end{matrix} \Rightarrow \text{opt } F \begin{matrix} \{y_k^0\} \\ q_4 \end{matrix}; \quad /1.2/$$

3/ задача по разработке ресурсосберегающих технологий ремонта

$$\forall \begin{matrix} \{x_z\} \in X_z \\ \{x_k\} \in A_z \end{matrix} [X_z \cap A_z] \exists L \begin{matrix} \{f_k\} \\ q_0 \end{matrix} \Rightarrow \text{opt } F \begin{matrix} \{y_z^0\} \\ q_{m,k} \end{matrix}. \quad /1.3/$$

Одной из основных задач, решаемых при автоматизации, является выбор критерия оценки эффективности внедрения в ТИР средств автоматизации, и в первую очередь, автоматизированного рабочего места.

В работе приведены результаты анализа таких критериев, как

1/ технический критерий эффективности

$$E = f(X_{\Psi}), X_{\Psi} = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}, i = \overline{1, m} \quad /1.4/$$

где  $X_{\Psi}$  - функция множества характеристик АИМ.

2/ максимум отношения эффективности  $R^*$  функционирования сложного устройства с аппаратурой контроля к эффективности функционирования того же устройства без аппаратуры контроля

$$K = \frac{R^*}{R} \quad /1.5/$$

3/ максимум отношения вероятностей достижения цели

$$F_{on} = \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ \Delta t_i \rightarrow 0}} \frac{P(\bar{A})}{P(\bar{n})}, \quad /1.6/$$

7

где  $P(\bar{A})$  - вероятность отказа одного блока ;  $P(\bar{n})$  - вероятность отказа системы, состоящей из одного работающего и  $n-1$  резервных блоков и системы контроля. Однако учитывая специфику построения и функционирования ТПР для оценки эффективности внедрения АРМ в работе получен собственный критерий - себестоимость ремонта изделия. Расчет критерия производится исходя из суммарных затрат на ремонт одного изделия ЭЭУ

$$F = \sum_{i=1}^M \frac{P_i}{\sum_{i=1}^M h(T)P_i} \left[ \sum_{h \in H} \left( \sum_{j=1}^M (\delta_j c_j^{(1)} + (1-\delta_j) c_j^{(2)}) \tau_h + \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{h \in H} \left( \frac{1}{B \cdot \lambda \cdot \gamma} \times \sum_{j=1}^M \theta_j c_{об. j} \right) \tau_h + \sum_{h \in H} R_m(h) + \sum_{h \in H} (K_n c_{пр}) \tau_h \right] , \quad / 1.7 /$$

где:

$$\frac{P_i}{\sum_{i=1}^M h(T)P_i} - \text{плановая стоимость ремонта изделия ЭЭУ ;}$$

$$\sum_{j=1}^M (\delta_j c_j^{(1)} + (1-\delta_j) c_j^{(2)}) \tau_h - \text{затраты на ремонт при тарифной оплате исполнителю ;}$$

$$\left( \frac{1}{B \cdot \lambda \cdot \gamma} \times \sum_{j=1}^M \theta_j c_{об. j} \right) \tau_h - \text{стоимость оборудования рабочего места ;}$$

$$\sum R_m(h) - \text{стоимость расходного материала ;}$$

$$\sum (K_n c_{пр}) \tau_h - \text{стоимость простоя исполнителя .}$$

В работе получены аналитические зависимости для расчета отдельных экономических параметров, а также получена методика минимизации этих параметров по выбранному критерию относительного изменения общих затрат при вариации параметров, характеризующих АРМ

$$\sigma^2 = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^m \delta_i^2 ,$$

/ 1.8 /

где  $\delta^2$  — среднее значение величины относительных отклонений, характеризующее точность приближенного решения задачи оптимизации.

Итоговая глава диссертации посвящена разработке методики формирования технологий выполнения ремонтных работ для изделий электронного и электротехнического оборудования на автоматизированном рабочем месте.

Начальный этап методики состоит в определении параметров оценки технического состояния изделий с последующим диагностированием и прогнозированием отказов и неисправностей в ремонтируемых изделиях. С целью решения этих задач для изделий проводится инженерный анализ, а затем строится математическая модель, по которой и определяются параметры оценки технического состояния. Для дискретных изделий используется функционально-логическое моделирование. Моделирование аналоговых изделий ЭЭО реализовано на основе применения теории чувствительности.

Дискретные изделия при использовании функционально-логического моделирования /ФЛМ/ представлены множеством попарно-различимых состояний  $\{s_i\} \in S$ ; множеством различных проверок  $\{\pi_j\} \in \Pi$ ; множеством результатов проверок  $\{a_k\} \in A$ . Задано множество всех возможных троек  $\Gamma = \{s_i, \pi_j, a_k\}$ , причем, каждой паре  $\{s_i, \pi_j\}$  в тройке  $\Gamma$  поставлен в соответствие один элемент из множества  $A$ . для определения параметров оценки ТС строится диагностическая матрица, по которой находится минимальный диагностический тест.

Сущность моделирования аналоговых изделий ЭЭО с использованием теории чувствительности состоит в том, что изделие представляется в виде четырехполюсника. Тогда в качестве диагностических параметров можно использовать схемные коэффициенты передачи по току или по напряжению. Например, схемная функция по напряжению может быть представлена в виде отношения выходной зависимой переменной по напряжению к входной независимой переменной по напряжению

$$F_{a_q} = \frac{U_a}{U_d} = \frac{\Delta_d a_q}{\Delta} \quad /2.11/$$

где  $\Delta$  — определитель матрицы проводимости элементов схемы изделия, а  $\Delta d_q$  — ее алгебраическое дополнение. Если представить / 2.1/ как

$$K_{ц} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}, \text{ то } /2.2/$$

$$U_{\text{ВХ}} = \frac{1}{\Delta} (\Delta_{aa} I_{\text{ВХ}} - Y_{\text{Н}} \Delta_{va} U_{\text{ВЫХ}}),$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{\Delta} (\Delta_{av} I_{\text{ВХ}} - Y_{\text{Н}} \Delta_{vv} U_{\text{ВЫХ}}).$$

$Y_{\text{Н}}$  — проводимость нагрузки изделия.

В приложениях № 1 и № 2 к диссертации приведены результаты моделирования типовых изделий ЭЭО: АИД -27 как представителя дискретных изделий и блока управления как аналогового изделия.

В основу построения АРМ положено применение покуснатурной модели. Аналитическая часть модели реализуется на персональной ЭМ. Это обстоятельство позволяет эффективно решать задачи по оптимальному определению ремонтных групповых комплектов и по определению рациональных объемов ремонтных работ, для достижения этой цели в работе разработаны алгоритмы расчета на ПЭМ объемов ремонтных работ  $V_{\text{РР}}$  и ремонтных групповых комплектов  $V_{\text{РГК}}$ . для решения поставленных задач использована топологическая /сетевая / модель.

При построении сетевой модели учитывалось, что расчеты  $V_{\text{РР}}$  и  $V_{\text{РГК}}$  осуществляются на ПЭМ, входящей в состав АРМ, а исходные данные для расчета поступают из банка данных, организованного на базе той же ПЭМ. Начальный этап при сетевом моделировании состоит в определении требуемой последовательности поступления исходных данных из банка для расчета  $V_{\text{РР}}$  и  $V_{\text{РГК}}$ . Зная множество параметров  $Q$ , от которых зависят расчеты, строится мограф  $G^M$  со взвешенными вершинами  $\{x_i : x_j\}$ . Затем для  $G^M$  составляется семантическая таблица, определяющая последовательность поступления параметров расчета, множество которых представляется в виде циклов. Моделирование процесса расчета производится на базе сетей Петри. Если процесс расчета представить сеть Петри  $S = \{S, T, X, Y\}$ , где  $S$  — множество позиций,  $T$  — множество переходов, а  $X$  и  $Y$  — функциям входов и выходов пере-

ходов, то существо моделирования процесса расчета состоит в маркировании позиций. Маркирование сети Петри — это функция, отображающая множество состояний  $S$  во множество неотрицательных чисел  $N$  или  $\mu: S \rightarrow N$ . Маркировку  $\mu$  сети Петри  $C$  можно определять как  $n$ -вектор:  $\mu = \{\mu_1, \dots, \mu_n\}$ , где  $n = |S|$ , а  $\mu \in N$  — число фишек в позиции  $S_i$ . Если задана функция перехода  $\delta(\mu, t_i)$  и определен переход, для которого  $\mu(S_i) \geq \#\{S_i, X(t_j)\}$ , то маркированная сеть Петри определяется

$$\mu' = \delta(\mu, t_j) = \mu - X(t_j) + Y(t_j) \quad /2.3/$$

Процедура маркирования определяет алгоритм расчета параметров  $V_{pp}$  и  $V_{тгк}$ . Полученные результаты исследований использованы для получения алгоритма расчета  $V_{pp}$ . Структура алгоритма приведена на рис. 2.1.

Разработанная методика позволяет с использованием ПЭМ оптимизировать по выбранному критерию технологии выполнения ремонтных работ.

В третьей главе диссертации излагается методология построения автоматизированного рабочего места, выполненного с применением ПЭМ. Основными этапами методологии являются: проведение многофакторного эксперимента для изделий ЭЭУ; определение аналитических зависимостей для расчета достоверности результатов оценки ТС на АРМ изделий ЭЭУ; анализ динамики переходных процессов элементов, модулей, блоков ЭЭУ; разработка метода идентификации технического состояния изделий ЭЭУ в процессе контроля.

В процессе эксплуатации в изделиях ЭЭУ возможны как одиночные /ординарные/, так и неординарные отказы. Как процесс построения рациональной структуры АРМ, так и оптимальный синтез его модулей зависят от вида отказа, имеющего место в изделиях ЭЭУ, и от величины погрешности измерений. Поэтому в работе решены задачи проведения однофакторного и многофакторного эксперимента. Методика проведения многофакторного эксперимента позволяет оптимизировать параметры оценки ТС изделий ЭЭУ.

Для проведения многофакторного эксперимента на начальном этапе составляется план реализации эксперимента: назначаются

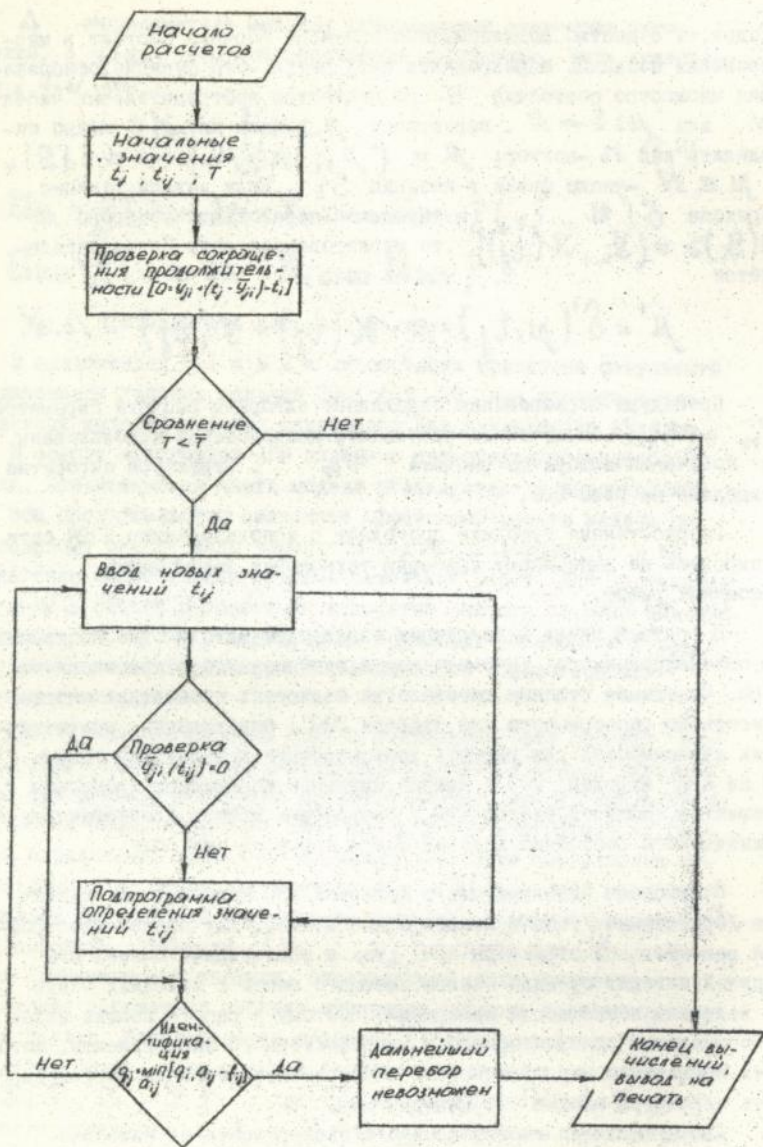


Рис. 2.1. Алгоритм расчета на ПЭММ  $V_{pp}$

факторы и определяются графически ; проводятся испытания изделия с регистрацией значений всех контролируемых параметров на  $K$  уровнях. Далее, проводится дисперсионный анализ результатов:

- вычисляется сумма квадратов всех измерений

$$L_1 = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{\ell} x_{ij}^2, \quad / 3.1/$$

- вычисляется сумма квадратов по итогам  $\ell$  и  $K$  :

$$L_2 = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^K x_i^2; \quad L_3 = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^{\ell} (x_{ji})^2; \quad / 3.2/$$

- вычисляется квадрат общего итога :

$$L_4 = \frac{1}{K\ell} \left( \sum_{i=1}^K x_i \right)^2 = \frac{1}{K\ell} \left( \sum_{j=1}^{\ell} x_j \right)^2; \quad / 3.3/$$

- вычисляется выборочная дисперсия случайных ошибок измерений  $S_0^2$  и факторов  $S_{\alpha}^2$  и  $S_{\beta}^2$  :

$$S_0^2 = \frac{L_1 + L_4 - L_2 - L_3}{(K-1)(\ell-1)}; \quad / 3.4/$$

$$S_{\alpha}^2 = \frac{L_2 - L_4}{K-1}; \quad / 3.5/$$

$$S_{\beta}^2 = \frac{L_3 - L_4}{\ell-1}. \quad / 3.6/$$

Степень влияния фактора  $\alpha$  определяется как

$$\sigma_{\alpha}^2 \approx \frac{S_{\alpha}^2 - S_0^2}{\ell}. \quad / 3.7/$$

для фактора  $\beta$

$$\sigma_{\beta}^2 \approx \frac{S_{\beta}^2 - S_0^2}{K}. \quad / 3.8/$$

При проектировании модулей АРМ особое внимание должно быть уделено задаче обеспечения требуемого уровня достоверности результатов оценки ТС изделий ЭЭУ. Как известно, для достоверного заключения о работоспособном состоянии контролируемого объекта необходимо, чтобы уровень надежности средств контроля был, как минимум, на порядок выше уровня надежности объекта.

При этом уровень инструментальной достоверности для АРМ может быть представлен

$$D_2 = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - d_{2i}) \quad /3.9/$$

где  $d_{2i}$  - вероятность верного заключения по  $i$ -му показателю.

Для конкретного АРМ с использованием приведенной методики получена количественная оценка достоверности /  $D=0,9624$  /.

Для оптимального построения аппаратной части АРМ и для рационального построения программного обеспечения АРМ необходимо располагать количественными и качественными характеристиками переходных процессов в изделиях ЭЭУ. В работе по принципу "от простого к сложному" рассмотрены и проанализированы переходные процессы в электронных и электротехнических цепях, модулях, блоках и системах. Например, для канала регулирования напряжения получено уравнение переходных процессов

$$\Delta U = A e^{-\frac{t}{T}} \sin(\omega t + \psi_0) + \Delta U_{ст}. \quad /3.10/$$

Результатом проведенного анализа является получение интегральных параметров диагностирования изделий ЭЭУ. К таким параметрам относятся: амплитуда /  $A$  / частота /  $\omega$  / ; начальная фаза /  $\psi_0$  / ; статическая ошибка  $\Delta U$  /.

В работе показано, что для анализа сложных гармонических сигналов для целей диагностирования успешно может быть использован спектральный анализ, основанный на применении преобразований Фурье.

Для периодической функции вида

$$y(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos 2\pi k \omega t + b_k \sin 2\pi k \omega t) \quad /3.11/$$

определяются коэффициенты ряда

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cos 2\pi k \omega t \quad / 3.12/$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \sin 2\pi k \omega t, \quad / 3.13/$$

где  $T = \frac{1}{\omega}$  - период функции  $y(t)$ ;  $k$  - номер гармоники.

По виду функции  $y(t)$ , а также по числовым значениям  $a_k$  и  $b_k$  - определяется работоспособное состояние изделия и множество неработоспособных состояний.

Эффективность функционирования АРМ зависит от технического уровня программного обеспечения. Эффективность программного обеспечения зависит от степени оптимизации процедуры реализации алгоритма функционирования АРМ. Для решения поставленной задачи в работе разработан метод идентификации технического состояния изделий ЭСУ в процессе контроля.

Суть метода состоит в применении теории распознавания образов с использованием ПЭВМ. Для объекта диагностирования определяется матрица состояний, состоящая из  $n_1$  строк и  $n_2$  столбцов. В качестве критерия, характеризующего техническое состояние объекта контроля, берется математическое ожидание числа единиц в каждой строке и в каждом столбце матрицы. Все множество состояний объекта контроля разбивается на  $n$  классов, к первому из которых относится состояние, характеризующее исправное состояние, а ко второму - состояния, присущие неисправному объекту. Обучение ПЭВМ распознаванию указанных классов сводится к тому, что по представительной выборке состояний, принадлежащих к каждому из классов, определяется математическое ожидание  $m[t]$  числа единиц отдельно для каждой из строк и для каждого столбца исходной матрицы.

Четвертая глава посвящена проведению экспериментальных исследований, в результате которых подтверждены на практике теоретические положения диссертационной работы. Разработаны технические требования, а также техническое задание на проектирование и разработку автоматизированного рабочего места, выполненного с применением ПЭВМ. Разработана структура АРМ, включающая ПЭВМ, коммутатор, периферийные модули /АЦП, ЦАП/, специализированные источники напряжения.

Произведено проектирование модулей АРМ в соответствии с техническим заданием и техническими требованиями.

Получены результаты поднатурного моделирования, используемого в АРМ. Процедура проведения таких исследований состоит в следующем.

Для реального объекта определяется характер переходного процесса при различных режимах работы, а также для исправного и неисправных состояний. Эксперимент проводился на автоматизированном рабочем месте, включающем ПЭВМ. Экспериментальные данные обрабатывались с целью определения коэффициентов уравнений, представляющих математическую модель исследуемых режимов и процессов изменения технического состояния испытуемых объектов. Следующий этап состоит в реализации процесса оценки адекватности математической модели. При этом рассматривается функционал вида

$$I = \int_0^{t_1} [u(t) - u^*(t)]^2 dt. \quad /4.1/$$

Решение задачи сводится к определению минимума функции / 4.1/

Учитывая специфику исследуемых объектов диагностирования, для определения критерия адекватности использованы три метода: метод градиентного спуска, метод случайного поиска, метод наименьших квадратов. Процесс реализации методов адекватности весьма трудоемок, поэтому была использована ПЭВМ. Алгоритм расчетов на ПЭВМ представлен на рис. 4.1.

При проведении экспериментальных исследований по диагностированию блока регулирования напряжения энергоузла переменного тока ряд Фурье представлен в виде

$$X(t) = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cos(\omega_i t - Q_i). \quad /4.2/$$

При этом

$$A_0 = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cos \omega_i t + \sum_{i=1}^n \beta_i \sin \omega_i t; \quad /4.3/$$

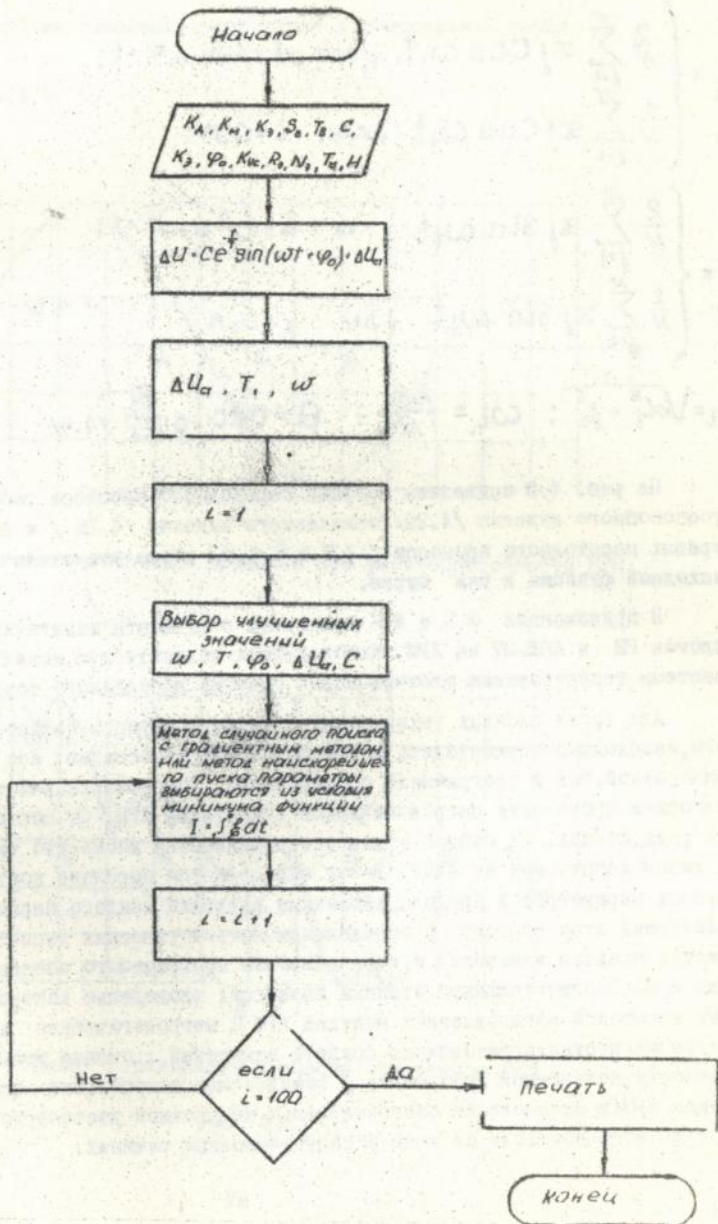


Рис. 4.1. Алгоритм расчета на ПЭВМ показателей адекватности

$$\alpha_i = \begin{cases} \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N x_j \cos \omega_i t, & \text{для } i=1,2,\dots,n-1; \\ \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \cos \omega_i t, & \text{для } i=0,n. \end{cases} / 4.4/$$

$$\beta_i = \begin{cases} \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N x_j \sin \omega_i t, & \text{для } i=1,2,\dots,n-1; \\ \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \sin \omega_i t, & \text{для } i=0,n. \end{cases} / 4.5/$$

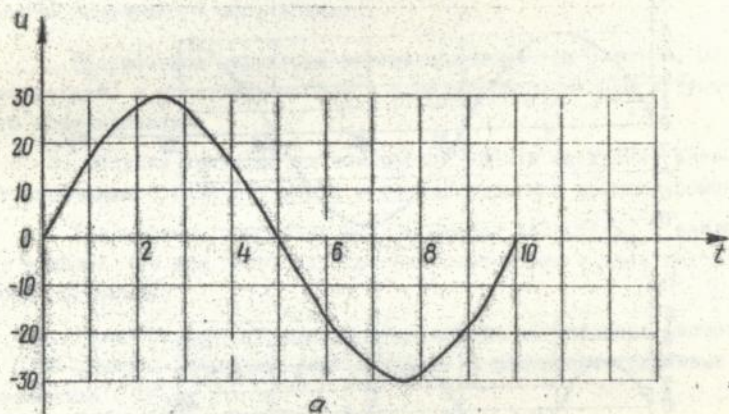
$$A_i = \sqrt{\alpha_i^2 + \beta_i^2}; \quad \omega_i = \frac{2\pi}{N}; \quad \Theta = \arctg \frac{\beta_i}{\alpha_i} / 4.6/$$

На рис. 4.2 приведены графики переходного процесса работоспособного изделия /4.2а/, отказавшего изделия /4.2б / и вид кривых переходного процесса / 4.3 а, б, с, d/ после разложения исходной функции в ряд Фурье.

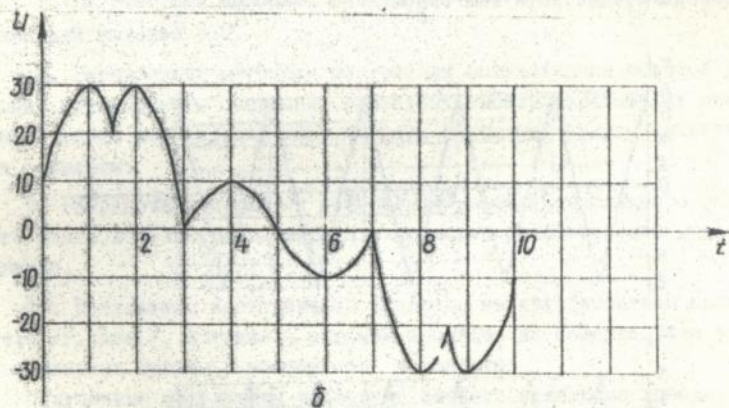
В приложениях № 3 и № 4 приведены результаты испытаний блоков РИ и АПД-27 на АРМ, использующих полунатурную модель системы генерирования электрической энергии постоянного тока.

Для таких сложных технических устройств, которым является АРМ, необходимо осуществлять метрологическую аттестацию как аппаратной, так и программной составляющих. В работе разработан алгоритм проведения метрологической аттестации АРМ. Он состоит из ряда этапов. На первом этапе устанавливается множество видов и типов испытуемых изделий. Далее определяется перечень контролируемых параметров и пределы изменения значений каждого параметра. Следующий этап состоит в определении метрологических характеристик средств измерения и корректировке программного обеспечения АРМ. Заключительными этапами являются: проведение контрольных испытаний изготовленных модулей АРМ; метрологическая аттестация нестандартизованных средств измерений; оценка достоверности получаемой информации; комплексные контрольные испытания АРМ и определение обеспечиваемых им уровней достоверности результатов контроля на всех эксплуатационных режимах.

Графики изменения напряжения в контрольной точке  
блока регулирования



а - кривая переходного процесса при работоспособности БРН



б - кривая переходного процесса при отказе БРН

Рис. 4.3

Графики гармонических составляющих диагностического сигнала

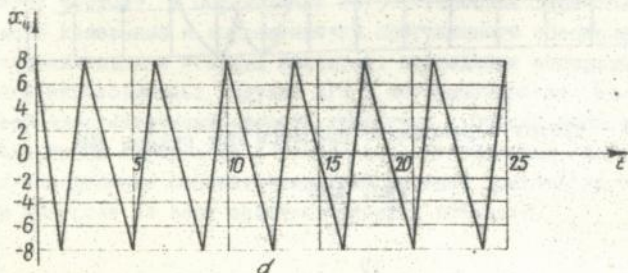
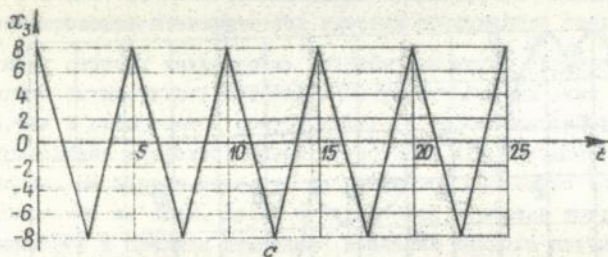
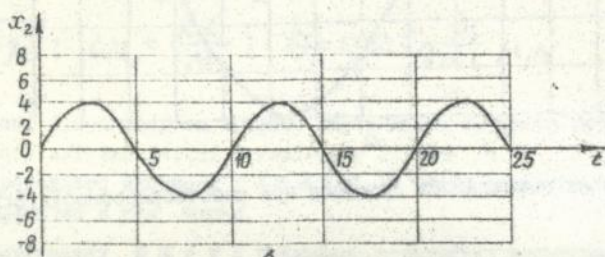
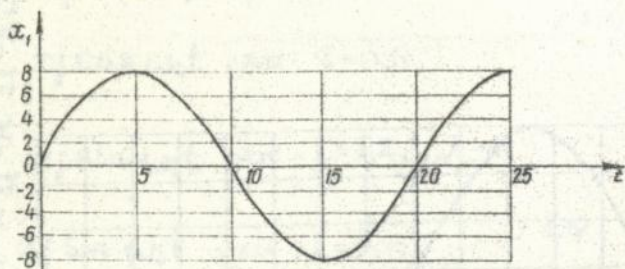


Рис. 4.3

## Основные результаты и выводы

1. Разработана топологическая модель перспективной системы технического обслуживания и ремонта электронного и электротехнического самолетного оборудования.

2. Разработана структура автоматизированного рабочего места, выполненного с применением ЭЭМ и использующего методы полунатурного моделирования.

3. Получен критерий экономической оценки внедрения автоматизированного рабочего места в технологический процесс ремонта.

4. Разработаны процедуры моделирования дискретных и аналоговых изделий ЭЭО для целей определения параметров оценки технического состояния.

5. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение расчета на ЭЭМ объемов ремонтных работ  $V_{PP}$  и ремонтных групповых комплектов  $V_{PГK}$ .

6. Разработана алгоритм формирования на ЭЭМ технологий выполнения ремонтных работ.

7. Разработана методика проведения многофакторного эксперимента для изделий ЭЭО.

8. Разработана методика построения полунатурных моделей для оценки технического состояния замкнутых электротехнических систем, а также для изделий ЭЭО, имеющих "скрытые" отказы и резервные элементы.

9. Разработана методика построения автоматизированного рабочего места, использующего методы и средства полунатурного моделирования.

10. Результаты исследований внедрены на авиаремонтном заводе № 410 /г.Киев/, а также в учебном процессе на кафедре "электрифицированных систем и комплексов аэропортов."

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Одним из рациональных путей совершенствования существующих технологических процессов ремонта и построения перспективных технологических линий ремонта является внедрение средств автоматизации, включая автоматизированные рабочие места.

2. для оценки экономической эффективности внедрения средств автоматизации в технологический процесс ремонта целесообразно использовать такой показатель, как себестоимость ремонта.

3. Для эффективной организации процесса сбора, обработки, хранения и передачи информации о техническом состоянии изделий ЭЭО, а также для реализации процедур расчета управляющих параметров на ПЭВМ успешно могут быть использованы сети Петри.

4. Максимально эффективное использование автоматизированных рабочих мест в технологическом процессе ремонта достигается применением методов и средств полунатурного моделирования.

5. Разработка модулей автоматизированного рабочего места основывается на использовании серийных микропроцессорных систем.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Кузовик В. Д., Мансур М. М. Анализ динамических характеристик замкнутых электротехнических систем. - В кн.: Проблемы эксплуатации авиационного оборудования. Сб. научных трудов. Киев. 1993, с. 43 - 47.

2. Кузовик В. Д., Мансур М. М. Методика планирования и проведения инженерного эксперимента на автоматизированном комплексе с применением ПКЭМ. - В кн.: Проблемы эксплуатации авиационного оборудования. Сб. научных трудов. Киев. 1993, с. 98 - 95.

3. Кузовик В. Д., Мансур М. М. Диагностические модели замкнутых электротехнических систем. В кн.: Тез. докл. II Международной научно-технической конференции по методам управления системной эффективностью функционирования электрифицированных и пилотажно-навигационных комплексов. Киев: КИИГА, 1993, с. 24 - 25.

4. Мансур М. М. Методика анализа переходных процессов в электротехнических системах. - В кн.: Тез. докл. XII студенческой научно-технической конференции. Киев: КИИГА, 1993, с. 36.

5. Мансур М. М. Методика формирования объемов ремонтных работ для изделий электронного и электротехнического оборудования. - В кн.: Тез. докл. XII студенческой научно-технической конференции. Киев: КИИГА, 1993, с. 37.

6. Кузовик В. Д., Мансур М. М. Определение технологии ремонта электротехнического оборудования. ВНИР №207 - ГО92. Исследование и разработка технологии автоматизированного контроля и оператив-

ной оценки технического состояния авиационного оборудования самолетов /за II полугодие 1992 г./ . Киев: КИИГА, 1992, с. 102 - 116.

7. Кузовик В. Д., Мансур М. М. Построение топологической модели перспективной системы ТО и Р. ВНИР №063 - ГБ92. Создание в АТБ центра ремонта бортового оборудования летательных аппаратов /I - II полугодия 1992 г./ . Киев: КИИГА, 1992, с. 11 - 37.

Сотискатель



М. М. Мансур

---

подписано в печать 25.05.93. Формат 60x84/16. Бумага типографская.  
Сфсетная печать. Усл.кр.-отт.7. Усл.печ.л. 1,16. Уч.-изд.л. 1,25.  
Тираж 100 экз. Заказ № 122-1. Цена . Изд. № 356/Ш.

---

Издательство КИИГА.

252058, Киев-58, проспект Космонавта Комарова,1.







AB 27.651